

## Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 07314360  
PUBLICATION DATE : 05-12-95

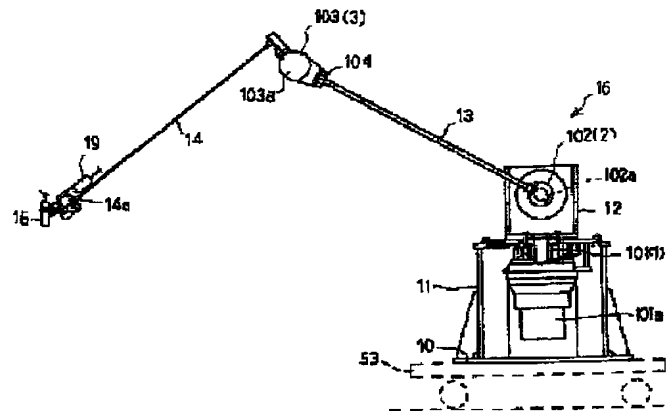
APPLICATION DATE : 31-05-94  
APPLICATION NUMBER : 06118831

APPLICANT : ISHIKAWAJIMA HARIMA HEAVY IND  
CO LTD;

INVENTOR : KITAYAMA HITOSHI;

INT.CL. : B25J 9/10 B25J 13/08

TITLE : CAMERA OPERATING ROBOT



**ABSTRACT :** PURPOSE: To move a view point, and enlarge a field of view by providing a rod of a second flexible arm of light weight which can be freely bent in an elevation direction at a forward end of a rod of a first flexible arm of light weight, and providing a camera at a forward end of it to be attitude-controlled freely.

**CONSTITUTION:** A first flexible arm (arm) 13 comprising a rod member of light weight is provided on a head part 12 which is freely rotatable about a rotation shaft 101 through an articulation shaft 2 to elevate freely. An angle sensor body type motor 102a is installed on the articulation shaft 2. A second flexible arm (arm) 14 comprising a rod member which can be bent freely in an elevation direction is installed on a forward end of the arm 13. A CCD camera 15 is provided on a forward end 14a of this arm 14 to be freely attitude-controlled. An acceleration sensor 104 to detect acceleration in the elevation direction, and an acceleration sensor 19 to detect acceleration in a horizontal direction are provided at forward end parts of both arms 13, 14 respectively. The camera 15 is moved to a visually desired position, an attitude of the camera 15 is controlled, and motion of the arms 13, 14 are controlled while vibration by resiliency of the arms 13, 14 is restricted.

**COPYRIGHT:** (C)1995,JPO



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-314360

(43) 公開日 平成7年(1995)12月5日

(51) Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
B 2 5 J 9/10 13/08	A Z			

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願平6-118831

(22) 出願日 平成6年(1994)5月31日

特許法第30条第1項適用申請有り 1994年1月28日、社団法人日本機械学会発行の「第3回 ダイナミックスに関するオーディオ・ビジュアルシンポジウム講演論文集」に発表

(71) 出願人 000000099

石川島播磨重工業株式会社

東京都千代田区大手町2丁目2番1号

(72) 発明者 村上 弘記

東京都江東区豊洲三丁目1番15号 石川島

播磨重工業株式会社東二テクニカルセンタ

一内

(72) 発明者 山崎 秀作

東京都江東区豊洲三丁目1番15号 石川島

播磨重工業株式会社東二テクニカルセンタ

一内

(74) 代理人 弁理士 絹谷 信雄

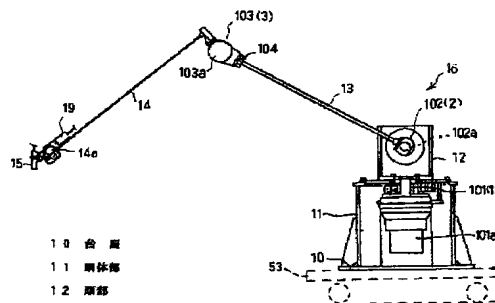
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 カメラ操作ロボット

(57) 【要約】

【目的】 視点の移動が可能で広い視野を持つ軽量なカメラ操作ロボットを提供する。

【構成】 台座10上に軽量の棒状部材からなる第1のアーム13を水平旋回自在に伏仰自在に設けると共にアーム13の先端に伏仰方向で屈曲自在な第2のアーム14を設け、アーム14の先端に姿勢制御自在にカメラ15を設けたロボット本体16と、アーム13, 14 に設けられその角度を検出する角度センサと、アーム13, 14 の先端に設けられ伏仰方向と水平旋回方向の加速度を検出する加速度センサ19, 104と、両センサの検出値が入力されると共にカメラ15の視覚目標位置が入力され、角度センサからカメラ位置を求めてカメラ15を視覚目標位置に移動させると共にカメラ15の姿勢を制御し、アーム13, 14 の弾性による振動を抑制しながらアーム13, 14 の運動を制御するカメラ位置制御手段35とを備えたことを特徴としている。



- 10 台座
- 11 本体部
- 12 駆動部
- 13 第1のフレキシブルアーム (アーム)
- 14 第2のフレキシブルアーム (アーム)
- 15 カメラ (CCDカメラ)
- 15M モニタ
- 19, 104 加速度センサ
- 16 操作ロボット本体
- 29 ジョイスティック
- 30 コントローラ (マイクロコンピュータ)
- 35 カメラ位置制御手段
- 40 視覚位置フィードバックゲイン回路
- 41 ゲインテーブル
- 53 歯車
- 101a, 102a, 103a モータ

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 対象物を撮影するカメラを視覚目標位置まで移動するためのカメラ操作ロボットにおいて、台座上に軽量の棒状部材からなる第1のフレキシブルアームを水平旋回自在にかつ伏仰自在に設けると共にその第1のフレキシブルアームの先端に伏仰方向で屈曲自在な第2のフレキシブルアームを設け、かつその第2のフレキシブルアームの先端に姿勢制御自在にカメラを設けた操作ロボット本体と、上記両フレキシブルアームに設けられその水平旋回角・伏仰角・屈曲角を検出する角度センサと、第1及び第2のフレキシブルアームの先端にそれぞれ設けられ、伏仰方向と水平旋回方向の加速度を検出する加速度センサと、上記角度センサと加速度センサの検出値が入力されると共にカメラの視覚目標位置が入力され、上記角度センサからカメラ位置を求めてカメラを視覚目標位置に移動させると共にそのカメラの姿勢を制御し、かつその移動中カメラ等の重量と加速度センサの加速度値より第1及び第2のフレキシブルアームの弾性による振動を抑制しながら第1及び第2のフレキシブルアームの旋回・伏仰・屈曲をそれぞれ制御するカメラ位置制御手段とを備えたことを特徴とするカメラ操作ロボット。

【請求項2】 上記カメラ位置制御手段は、視覚目標位置角度センサと加速度センサとフレキシブルアームの弾性及びカメラ等の質量に基づいて第1及び第2のフレキシブルアームの旋回・伏仰・屈曲させるアクチュエータを制御する視覚位置フィードバックゲイン回路と、その視覚位置フィードバックゲイン回路の最適状態フィードバックゲインを決定すべく、フレキシブルアームの弾性とカメラ等の質量に基づく振動抑制モデルをフレキシブルアームの関節角をパラメータとしてモデル化して求めたフィードバックゲインのゲインテーブルとを備え、ゲインテーブルから、フレキシブルアームの関節角毎のゲインを線形補間して求めたゲインで視覚位置フィードバックゲイン回路を動作して振動制御を行う請求項1記載のカメラ操作ロボット。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、対象物を撮影するカメラを視覚目標位置まで移動するためのカメラ操作ロボットに関する。

## 【0002】

【従来の技術】 近年、わが国において電力消費量の増加に伴い、原子力発電所の役割が重要なものとなっている。

【0003】 原子力発電所を安全かつ安定的に運転するために、電気事業法に定められた定期点検を主要な機器や配管等に対し毎年1回ずつ実施しており、運転中にも巡視点検が行われている。これらの検査、点検を実施するにあたり、ロボットを利用してカメラを操作すること

が行われている。

【0004】 このような検査、点検用のカメラ操作ロボットには例えば図8に示すように原子力発電所の大井に予めレール1を設け、そのレール1に吊り下げられ、パン、チルト台2を有する台車3で走行するロボット本体に、対象物を撮影するテレビカメラ4を搭載したもの（タンデム走行形）や、図9に示すように原子力発電所の床の上に配置された台座5にロボット本体6を搭載し、ロボット本体6のアーム7の先端にテレビカメラ8を取り付けたもの（極座標形、円筒座標形等）がある。

## 【0005】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、上述した従来のカメラ操作ロボットは、図8に示したタンデム走行形の場合には限られた軌道を走行するロボット本体が対象物に接近し、対称物にカメラ4のレンズを向けるだけであり、対象物の裏側を撮影することができず、対象物が物陰にある場合には撮影できない。しかもカメラ4の角度を変えるだけで視野を確保するので画面が傾きがちでしまう。

【0006】 また、図9に示した極座標形、円筒座標形等のカメラ操作ロボット場合にはカメラ7の撮影範囲はある程度得られるが、撮影範囲を広くしたり高い位置を撮影したい場合にはアーム7を長くしなければならない。しかしこの場合アーム7の剛性を高くするため、重量が非常に重くなり台車等への搭載が難しくなってしまう。

【0007】 そこで、本発明の目的は、上記課題を解決し、視点の移動が可能で広い視野を持つ軽量のカメラ操作ロボットを提供することにある。

## 【0008】

【課題を解決するための手段】 上記目的を達成するために本発明は、対象物を撮影するカメラを視覚目標位置まで移動するためのカメラ操作ロボットにおいて、台座上に軽量の棒状部材からなる第1のフレキシブルアームを水平旋回自在にかつ伏仰自在に設けると共にその第1のフレキシブルアームの先端に伏仰方向で屈曲自在な第2のフレキシブルアームを設け、かつその第2のフレキシブルアームの先端に姿勢制御自在にカメラを設けた操作ロボット本体と、両フレキシブルアームに設けられその水平旋回角・伏仰角・屈曲角を検出する角度センサと、第1及び第2のフレキシブルアームの先端にそれぞれ設けられ、伏仰方向と水平旋回方向の加速度を検出する加速度センサと、角度センサと加速度センサの検出値が入力されると共にカメラの視覚目標位置が入力され、角度センサからカメラ位置を求めてカメラを視覚目標位置に移動させると共にそのカメラの姿勢を制御し、かつその移動中カメラ等の重量と加速度センサの加速度値より第1及び第2のフレキシブルアームの弾性による振動を抑制しながら第1及び第2のフレキシブルアームの旋回・伏仰・屈曲をそれぞれ制御するカメラ位置制御手段とを

備えたものである。

【0009】また、本発明のカメラ操作ロボットのカメラ位置制御手段は、視覚目標位置角度センサと加速度センサとフレキシブルアームの弾性及びカメラ等の質量に基づいて第1及び第2のフレキシブルアームの旋回・伏仰・屈曲させるアクチュエータを制御する視覚位置フィードバックゲイン回路と、その視覚位置フィードバックゲイン回路の最適状態フィードバックゲインを決定すべく、フレキシブルアームの弾性とカメラ等の質量に基づく振動抑制モデルをフレキシブルアームの関節角をパラメータとしてモデル化して求めたフィードバックゲインのゲインテーブルとを備え、ゲインテーブルから、フレキシブルアームの関節角毎のゲインを線形補間して求めたゲインで視覚位置フィードバックゲイン回路を動作して振動制御を行ってもよい。

【0010】

【作用】上記構成によれば、軽量の棒状部材からなる第1のフレキシブルアームの先端に、伏仰方向で屈曲自在で軽量の棒状部材からなる第2のフレキシブルアームを設け、その第2のフレキシブルアームの先端に姿勢制御自在にカメラを設けたので、第1及び第2のフレキシブルアームを屈曲させることにより、カメラを高所や障害物の裏側へ自由に移動させることができ、しかも操作ロボット本体が軽量化されるため台車への搭載が容易となる。

【0011】両フレキシブルアームが軽量の棒状部材からなるため、カメラが視覚目標位置まで移動する際に第1及び第2のフレキシブルアームが重力で歪むと共に移動によって振動するが、カメラ位置制御手段がセンサからの水平旋回角・伏仰角・屈曲角及び伏仰方向と水平旋回方向の加速度に基づいてカメラ位置を求めてカメラを視覚目標位置に移動させると共に、ゲインテーブルから、フレキシブルアームの関節角毎のゲインを線形補間して求めたゲインで視覚位置フィードバックゲイン回路を動作してカメラの姿勢を制御し、両フレキシブルアームの弾性による振動を抑制しながら両アームの旋回・伏仰・屈曲を制御するので、カメラが視覚目標位置に到達するときには第1及び第2のフレキシブルアームが振動することがなく、安定した画像を得ることができる。

【0012】

【実施例】以下、本発明の一実施例を添付図面に基づいて詳述する。

【0013】図1は本発明のカメラ操作ロボットの一実施例の外観図である。

【0014】同図において、10は台座であり、台座10の上には胴体部11が設けられている。胴体部11は旋回機構を有しており、頭部12が水平面で旋回できるようになっている。101は旋回軸（関節軸1）であり、101aの角度センサ（エンコーダ）一体型のモータにより駆動される。頭部12には軽量の棒状部材から

なる第1のフレキシブルアーム13が関節軸2を介して伏仰自在に設けられている。関節軸2には角度センサ（エンコーダ）一体型のモータ102aが紙面裏側に取り付けられている。第1のフレキシブルアーム13の先端には伏仰方向で屈曲自在な第2のフレキシブルアーム14が関節軸3を介して設けられている。関節軸3には角度センサ（エンコーダ）一体型のモータ103aが取り付けられている。第2のフレキシブルアーム14の先端部14aには姿勢制御自在にCCDカメラ15が設けられている。これら台座10、胴体部11、頭部12、第1のフレキシブルアーム13及び第2のフレキシブルアーム14で操作ロボット本体16が構成されている。両フレキシブルアーム13、14の先端部には伏仰方向の加速度を検出する加速度センサ104と、水平方向の加速度を検出する加速度センサ19とがそれぞれ設けられている。

【0015】操作ロボット本体16とカメラ位置制御手段35（図3参照）とでカメラ操作ロボットが構成される。

【0016】図2は図1に示したカメラ操作ロボットのカメラの拡大図であり、図2（a）はカメラの側面図、図2（b）は図2（a）を矢印A方向から見た図である。

【0017】図2（a）において、第2のフレキシブルアーム14の先端部14aには断面が略L字形の金具17を介してギヤボックス18と加速度センサ19とが取り付けられており、ギヤボックス18にはモータ20、21が接続されている。ギヤボックス18は第2のフレキシブルアーム14と直交する（紙面に垂直な）回転軸22を有しており、例えばモータ20で回転するようになっている。この回転軸22には中空のアーム23が設けられており、このアーム23は回転軸22の回りに回転自在になっている。さらにアーム23内にはアーム23の中心軸の回りに回転自在なアーム24が設けられており、モータ21で回転するようになっている。アーム24の先端には雲台25を介してCCDカメラ15が取り付けられている。

【0018】モータ20が回転するとアーム23が回転してCCDカメラ15が伏仰方向で第2のフレキシブルアーム14に対して例えば±65度程度回転できるようになっている。モータ21が回転するとアーム24が回転し100度程度旋回できるようになっている（図2（b））。

【0019】これらのモータ20、21で姿勢補償機構26のアクチュエータ26aが形成され、CCDカメラ15の姿勢が制御されるようになっている。従ってCCDカメラ15を操作する機構は、自由度が3のフレキシブルアーム13、14と、自由度が2の姿勢補償機構26とで都合5自由度となっている。フレキシブルアーム13、14の機械的な制約上、姿勢補償機構は1Kg以

下で制作したことからCCDカメラ15の光軸回りの方向を制御する自由度に相当する機構がないが、CCDカメラ15の光軸回りの方向を制御する制御機構を設けてもよい。

【0020】CCDカメラ15のコード（映像信号等用）27と、モータ駆動用コード（図にはない）とが加速度センサ信号コード28とが第1及び第2のフレキシブルアーム13、14に巻付けられてカメラ位置制御手段35に接続されている。

【0021】図3は図1に示したカメラ操作ロボットを制御するための制御システムの構成図である。

【0022】図3に示すシステムは、CCDカメラ15、ジョイスティック29、コントローラ30、駆動ユニット31、32、モニタ15M及びフレキシブルアーム系34から構成されている。

【0023】ジョイスティック29は操作者がカメラ操作ロボットに視覚目標位置を指示するための指令信号を発生するためのものである。コントローラ（例えばマイクロコンピュータ）30は、ジョイスティック29からの指令信号を受けると、両フレキシブルアーム13、14、角度センサおよび加速度センサからなるフレキシブルアーム系34を駆動する駆動ユニット31と、カメラ15の姿勢補償機構26の駆動ユニット32とを駆動すると共に監視するようになっている。フレキシブルアーム系34、姿勢補償機構26及びCCDカメラ15でCCDカメラ操作系33が構成されている。CCDカメラ15にはモニタ15Mが接続されており、操作者が対象物のモニタ画面を見ながらジョイスティック29でCCDカメラ15の位置及び方向を操作できるようになっている。

【0024】ジョイスティックの指令方向は、CCDカメラ（モニタ画面）に固定した座標系を基準としている。ジョイスティック29には位置制御用と姿勢制御用の2本の3自由度指令ができるものが用いられている。ジョイスティック29による指令値は、モニタ15Mの画面に固定した座標系に基づきそれぞれの軸に対する速度指令としている。但し、上述したようにフレキシブルアーム側は5自由度しかないが画面に垂直な軸回りの姿勢について制御するようにしてもよい。尚、マイクロコンピュータ30の中にカメラ位置制御手段35が構成されている。

【0025】ここで、図1に示したカメラ操作ロボット本体の両フレキシブルアーム13、14の運動学について図4を参照して説明する。図4は図1に示したカメラ操作ロボット本体のフレキシブルアームの運動学を説明するための説明図である。尚、説明を簡単にするため姿勢補償機構は省略されている。

【0026】まず関節変数を $\theta$  ( $\theta_1 \sim \theta_5$ )、両フレキシブルアーム13、14からなるリンク12、13の並進弾性変位を $\delta_2$ 、 $\delta_3$ 、回転弾性変位を $\phi_2$ 、 $\phi_3$

というベクトルで定義する。ここで、 $i$ リンク座標系から基準座標系への座標変換行列を、 $\theta$ 、 $\phi_2$ を変数にもつ行列 $T_i$ と定義すると $i$ リンク先端の位置ベクトル $r_i$ は数1式で表される。

【0027】

【数1】

$$r_i = \sum_{j=1}^i T_j d_j$$

【0028】但し、 $d_i$ は数2式に示す各リンク12、13に固定した座標系でのリンク先端の位置ベクトルである。

【0029】

【数2】 $d_i = [l_i + \delta_{x,i} d_i + \delta_{y,i} \delta_{z,i}]^T$

但し、 $l_i$ ：リンク長さ、 $d_i$ ：関節オフセット

また、CCDカメラ15の姿勢行列を $T_s$ と定義する。尚、姿勢補償機構26とカメラの光軸のオフセットは微小とみなし、姿勢制御軸は1点で交差しているものとする。

【0030】次に導出された運動学から第2のフレキシブルアーム14の先端部14aの位置の誤差を補正するためのヤコビ行列を導出する。数1式の $i$ を3とすることで第2のフレキシブルアーム14の先端（CCDカメラ15）の位置ベクトル $r$ が得られる。この $r$ を関節変数 $\theta$ 、弾性変位ベクトル $e$  ( $= [\delta_2^T, \delta_3^T, \phi_2^T, \phi_3^T]^T$ )で偏微分することにより、以下の数3式が得られる。

【0031】

【数3】 $\Delta r = J_\theta \Delta \theta + J_e \Delta e$

但し、 $J_\theta$ 、 $J_e$ は数4、5式によって定義される。

【0032】

【数4】 $J_\theta = \partial r / \partial \theta$

【0033】

【数5】 $J_e = \partial r / \partial e$

他方ジョイスティック操作による指令に基づくCCDカメラ15の位置制御のアルゴリズムについては近似的なヤコビ行列を用いることで導出される。但し、導出にあたり、以下の仮定を設けた。

【0034】仮定1：ヤコビ行列では弾性変位項は微小項として無視できる。

【0035】仮定2：目標点まわりでは弾性変位は変化しない。

【0036】仮定3：初期状態では目標位置と先端位置／姿勢は一致している。

【0037】ジョイスティック操作による指令値は、CCDカメラの座標系（操作者が画面を見ながら操作する）によって定義する。位置に関する指令値を $\Delta r_{id}$ とし、この指令値を実現するフレキシブルアーム目標関節角 $\theta_d$ を求める式を以下導出する。仮定1、2より運動関係式は数6式のように簡単になる。

【0038】

【数6】

$$\Delta r = \overline{J_0} \Delta \theta$$

但し、 $\overline{J_0}$  : 剛体とみなしたときのヤコビ行列

【0039】ジョイスティック操作で指令された位置への第2のフレキシブルアーム14の先端部14aの微小変位を実現するための関節角 $\Delta \theta$ は、CCDカメラ15の姿勢行列を用いて数7式によって求められる。

【0040】

【数7】

$$\Delta \theta_d = \overline{J_0}^{-1} T_5 \Delta r_{jd}$$

【0041】時刻iでのフレキシブルアーム目標関節角を $\theta_i(i)$ と定義すると、目標関節角 $\theta_i(i)$ は仮定3の初期条件で数8式によって求めることができる。

【0042】

【数8】 $\theta_i(i) = \theta_i(i-1) + \Delta \theta_i$ 

CCDカメラ15の姿勢について、ジョイスティック29からの指令値により操作させるためのアルゴリズムを説明する。

【0043】モニタ15Mの画面に固定した座標系によるジョイスティック29からの回転指令値をロール・ピッチ・ヨー角で示した $\Delta \alpha$ 、 $\Delta \beta$ と定義する。但し、モニタ15Mの画面に垂直な軸（CCDカメラ15の軸）回りについては制御軸がないので指令しない。位置の目標値と同様に時刻iでの目標姿勢行列を $T_i(i)$ と定義すると仮定3の初期条件で以下の数9式で求められる。

【0044】

【数9】 $T_i(i) = T_i(i-1) A_i T_{oi}$ 

但し、 $A_i$ は $\theta_i$ 軸を仮想的に設定した姿勢変換行列で自由度が不足している部分を計算上補正するための行列である。また、 $T_{oi}$ は以下の数10式に示す行列である。

【0045】

【数10】

$$T_{oi} = R_{oi}(y_i, \Delta \beta) R_{oi}(x_i, \Delta \alpha)$$

但し、 $R_{oi}(i, \phi)$  : i軸回りに $\phi$ 回転する回転行列  
姿勢補償機構26の関節角指令値 $\theta_{id}$ 、 $\theta_{sd}$ は、第2のフレキシブルアーム14の先端姿勢行列 $T_5$ を用いて以下

【0046】

【数11】 $T_i(i) = T_5 A_4 A_5 A_6$ 

但し、 $A_4$ 、 $A_5$  :  $\theta_{id}$ 、 $\theta_{sd}$ で表される回転行列  
振動抑制制御は、3次元バネ（両フレキシブルアーム13、14の弾性）とCCDカメラ15及び両フレキシブルアーム13、14の質量に基づく振動抑制モデルを両フレキシブルアーム13、14の関節角をパラメータとしてモデル化して求めたフィードバックゲインを用いて

御を行うために、予め適当な間隔の関節角に区切ったゲインマップを作成した。任意の角度については、ゲインを線形補間することで、振動抑制を全作業領域で行うこととした。

【0047】図5は図4に示したフレキシブルアーム系及び姿勢補償機構の動作を制御するカメラ位置制御手段35を説明するためのブロックダイアグラムである。尚、図5では説明を簡単にするためCCDカメラ及びモニタは省略されている。

【0048】30aはマイクロコンピュータ30に内蔵された視覚目標位置補償アルゴリズムである。フレキシブルアーム系34は、第1及び第2のフレキシブルアーム13、14を回転、旋回させるためのアクチュエータ37と、旋回角、伏仰角及び屈曲角を検出する角度センサとしてのエンコーダ38及び加速度センサ39とから構成されている。アクチュエータ37は、モータ101a、102a、103aから構成されている。

【0049】40は視覚位置フィードバックゲイン回路であり、第1及び第2のフレキシブルアーム13、14の旋回・伏仰・屈曲させるアクチュエータ37を制御する。

【0050】41は両フレキシブルアーム13、14の弾性とCCDカメラ15等の質量に基づく振動抑制モデルを両フレキシブルアーム13、14の関節角（第1のフレキシブルアーム13の伏仰角と第1のフレキシブルアーム13と第2のフレキシブルアーム14との間の屈曲角）をパラメータとしてモデル化して求めたフィードバックゲインのゲインテーブルである。42は歪計算回路、43は重力補償回路である。状態フィードバックにおける歪の目標値は重力歪分を考慮する必要があるので、目標関節角 $\theta_i$ から重量を計算する重力歪計算回路44が付加されている。

【0051】他方、姿勢補償機構26はアクチュエータ26aと、CCDカメラ15の伏仰角及び旋回角を検出するためのエンコーダ45とからなっている。46、47は微分要素であり、48は比例係数である。尚、本実施例では両フレキシブルアーム13、14にはトルク指令（電流制御）型のドライバを使用し、姿勢補償機構26には速度指令型のドライバを使用している。

【0052】次にカメラ操作ロボットの動作について説明する。

【0053】操作者がジョイスティック29を操作して視覚目標位置を設定すると、マイクロコンピュータ30が視覚目標位置補償アルゴリズム30aに従って現在位置から視覚目標位置までCCDカメラ15を移動させるのに最適な旋回角 $\theta_1$ 、伏仰角 $\theta_2$ 及び屈曲角 $\theta_3$ で両フレキシブルアーム13、14のアクチュエータ26a、37を駆動する。これと共にカメラ位置制御手段35が各センサ38、39からの角度や加速度の情報に基づいてカメラ位置を求めてCCDカメラ15を視覚目標

位置に移動させる。

【0054】例えば図6に示すように第2のフレキシブルアーム14の先端部14aの位置を撮影対象物としての床55、壁56及び天井57に沿って平行に移動させると共に、第2のフレキシブルアーム14の先端部14aを各停止位置（視覚目標位置） $S_1 \sim S_{10}$ に順次停止させ、操作者がモニタ15Mの画面を見ながらジョイスティック29を操作して各停止位置 $S_1 \sim S_{10}$ でCCDカメラ15の姿勢を変えて対象物を撮影することができる。

【0055】また、図7に示すように操作ロボット本体の前面に障害物58がある場合には、第1のフレキシブルアーム13の先端部13aが障害物58より高い位置になるような伏仰角 $\theta_1$ を選択し、第2のフレキシブルアーム14の先端部14aが障害物58の裏側になるような角度 $\theta_2$ を選択することにより、CCDカメラ15を障害物58の裏側に停止させ、操作者がモニタ15Mの画面を見ながらジョイスティック29を操作することにより障害物58の裏側を撮影することができる。尚、図6及び図7は図1に示したカメラ操作ロボットで対象物を撮影するときの操作状態を示す図である。尚、説明を簡単にするため図中カメラ操作ロボットはシンボルで示されている。

【0056】ところで、カメラ操作ロボットの両フレキシブルアーム13、14はそれ自体の重量で撓んで歪が生じ、CCDカメラ15を移動させると慣性力でさらに歪が生じる。この歪は以下のようにして補正される。

【0057】まず加速度センサ39は、慣性力によって生じる加速度 $a$ を検出し、この加速度を歪計算回路42に送出する。歪計算回路42は加速度を歪に換算し、弾性変位 $\delta$ を算出する。弾性変位 $\delta$ は、加え合わせ点49に入力されると共に微分要素46で微分され視覚位置フィードバックゲイン回路40に入力される。エンコーダ38からの角度 $\theta$ （ $\theta_1 \sim \theta_3$ ）の情報は歪計算回路42、重力補償回路43、微分要素47、加え合わせ点50及び視覚目標位置補償アルゴリズム30aに入力される。重力補償回路43は両フレキシブルアーム13、14が重力で撓んだときの歪を補正した補正量 $\tau$ を加え合わせ点51に入力する。角度 $\theta$ は微分要素47で微分されて視覚位置フィードバックゲイン回路40に入力される。加え合わせ点49で重力歪44と弾性変位 $\delta$ とが比較され、その誤差が視覚位置フィードバックゲイン回路40に入力される。視覚位置フィードバックゲイン回路40は、ゲインテーブル41から両フレキシブルアーム13、14の伏仰角 $\theta_2$ 及び屈曲角 $\theta_3$ に対応する歪に対する補正量を読み出して（あるいは線形補間して）、その出力 $\tau$ を加え合わせ点51に入力する。加え合わせ点51では $\tau_0$ と $\tau$ とが加算されてアクチュエータ37に入力される。アクチュエータ37は $\tau_0$ と $\tau$ との和に応じて両フレキシブルアーム13、1

4を駆動すると共にその振動を抑制するように調整する。すなわち両フレキシブルアーム13、14は、その撓みによる歪と振動とが抑制される方向に調整されるので、第2のフレキシブルアーム14の先端部14aの位置が操作者が所望する位置で安定化され、各停止位置 $S_1 \sim S_{10}$ においてCCDカメラ15が振動することがなくなる。

【0058】各停止位置 $S_1 \sim S_{10}$ でジョイスティック29を操作することにより、CCDカメラ15の伏仰角 $\theta_1$ 及び旋回角 $\theta_2$ が加え合わせ点52に入力される。これと共にエンコーダ45の出力が加え合わせ点52に入力される。加え合わせ点52の出力は比例係数48に入力され、その出力 $V$ がアクチュエータ26aに入力されCCDカメラ15の姿勢が操作者の所望する方向に制御される。

【0059】以上において本実施例によれば、軽量の棒状部材からなる第1のフレキシブルアームの先端に、軽量の棒状部材からなる第2のフレキシブルアームを設け、その第2のフレキシブルアームの先端に姿勢制御自在にカメラを設けたので、両フレキシブルアームを屈曲させることにより、カメラを高所や障害物の裏側へ自由に移動させることができ、広い視野を持つことができる。しかも操作ロボット本体が軽量化されるため台車への搭載が容易となる。

【0060】また両フレキシブルアームが軽量の棒状部材からなるため、カメラが両フレキシブルアームの重さで撓むと共に移動時に振動するが、カメラ位置制御手段が各センサからの角度や加速度の情報に基づいてカメラ位置を求めてカメラを視覚目標位置に移動させると共に、ゲインテーブルから、フレキシブルアームの関節角毎のゲインを線形補間して求めたゲインで視覚位置フィードバックゲイン回路を動作してカメラの姿勢を制御し、両フレキシブルアームの弾性による振動を抑制しながら両アームの旋回・伏仰・屈曲を制御するので、カメラが視覚目標位置に到達するときには第1及び第2のフレキシブルアームが振動することがなく、安定した画像を得ることができる。

【0061】

【発明の効果】以上要するに本発明によれば、次のような優れた効果を発揮する。

【0062】(1) 軽量の棒状部材からなる第1及び第2のフレキシブルアームを用いたので、カメラを高所や障害物の裏等に自由に移動させることができ、広い視野を持つことができる。しかも操作ロボット本体を軽量化することができるので、台車への搭載が可能である。

【0063】(2) 第1及び第2のフレキシブルアームがその重量で歪み、移動する際に振動するが、カメラ位置制御手段が歪と振動を抑制するように両フレキシブルアームを調整するので、振動のない安定した撮影画像を得ることができる。



## 【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明のカメラ操作ロボットの一実施例の外観図である。

【図 2】図 1 に示したカメラ操作ロボットのカメラの拡大図である。

【図 3】図 1 に示したカメラ操作ロボットを制御するための制御システムの構成図である。

【図 4】図 1 に示したカメラ操作ロボット本体のフレキシブルアームの運動学を説明するための説明図である。

【図 5】図 4 に示したフレキシブルアーム系及び姿勢補償機構の動作を制御するカメラ位置制御手段を説明するためのブロックダイヤグラムである。

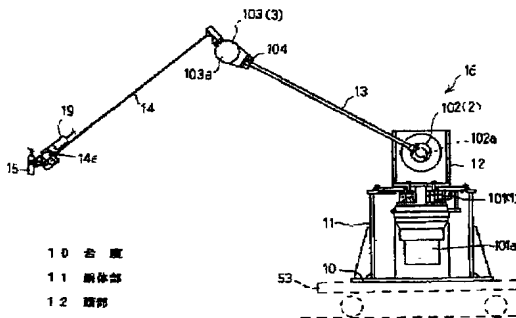
【図 6】図 1 に示したカメラ操作ロボットで対象物を撮影するときの操作状態を示す図である。

【図 7】図 1 に示したカメラ操作ロボットで対象物を撮影するときの操作状態を示す図である。

【図 8】カメラ操作ロボットの従来例である。

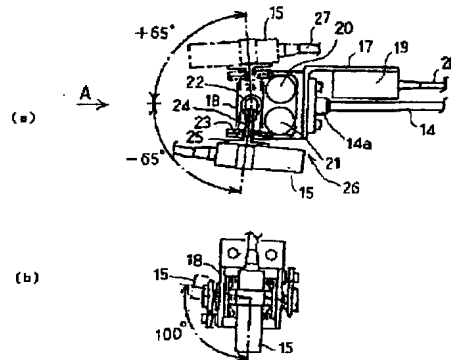
【図 9】カメラ操作ロボットの他の従来例である。

【図 1】

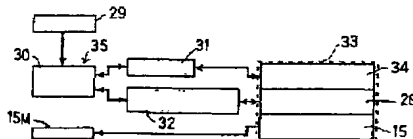


- 10 台座  
11 胴体部  
12 頭部  
13 第1のフレキシブルアーム (アーム)  
14 第2のフレキシブルアーム (アーム)  
15 カメラ (CCDカメラ)  
15M モニタ  
19, 104 加速度センサ  
16 操作ロボット本体  
29 ジョイスティック  
30 コントローラ (マイクロコンピュータ)  
35 カメラ位置制御手段  
40 視覚位置フィードバックゲイン回路  
41 ゲインテーブル  
53 台車  
101a, 102a, 103a モータ

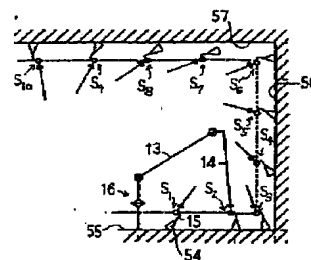
【図 2】



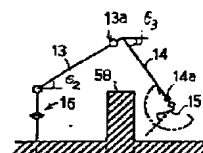
【図 3】



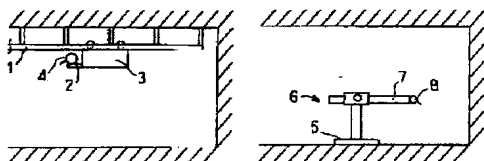
【图 6】



【图7】



【图9】



(72)発明者 北山 仁志  
東京都江東区豊洲三丁目1番15号 石川島  
播磨重工業株式会社東二テクニカルセンタ  
ー内